Journal of Agroecology
Vol. 11, No.4, Winter 2020, p. 1205-1224

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 4، زمستان 1398، ص 1224-1205

مطالعه تأثیر باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه بر ویژگی‌های بوم‌شناختی فیزیولوژیک ارقام سویا (*Glycine max* L.) تحت رژیم‌های آبیاری

فرزاد مندنی[1*]، کیانوش خانی[2]، سعید جلالی هنرمند[3] و محسن سعیدی[3]

تاریخ دریافت: 1397/03/31
تاریخ پذیرش: 1397/08/20

مندنی، ف.، خانی، ک.، جلالی هنرمند، س. و سعیدی، م. 1398. مطالعه تأثیر باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه بر ویژگی‌های بوم‌شناختی فیزیولوژیک ارقام سویا (*Glycine max* L.) تحت رژیم‌های آبیاری. بوم‌شناسی کشاورزی، 11 (4):1224-1205.

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی نقش باکتری‌های تقویت‌کننده رشد بر برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های بوم‌شناختی فیزیولوژیک سویا (*Glycine max* L.) تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی با سه تکرار در سال 1396 اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های مختلف رطوبتی (I_1: قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه‌ها تا انتهای دوره رشد، I_2: قطع آبیاری از مرحله پایان تشکیل غلاف تا انتهای دوره رشد و I_3: آبیاری کامل در تمام طول فصل رشد (بدون تنش آبیاری در حدود 50 درصد تخلیه رطوبت) به‌عنوان عامل اصلی و سویه‌های باکتری تقویت‌کننده (B_1: بدون باکتری، B_2: *Bacillus subtilis*، B_3: *Bacillus licheniformis*) و ارقام سویای کوثر، M_9 و TMS به‌عنوان دیگر فاکتورها در نظر گرفته شد. صفات مورد ارزیابی شامل شاخص سطح برگ، روند جذب تشعشع، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، وزن خشک کل، کارایی مصرف تشعشع و عملکرد دانه بود. نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی ویژگی‌های مورد ارزیابی ارقام مختلف سویا به‌شدت کاهش یافت. کاربرد سویه‌های مختلف باکتری به‌شدت منجر به بهبود ویژگی‌های مورد ارزیابی شد. بالاترین شاخص سطح برگ (6/7)، روند جذب تشعشع (18/2 مگاژول در مترمربع)، سرعت رشد محصول (20/6 گرم در در مترمربع در روز)، وزن خشک کل (1104/7 گرم در مترمربع) و کارایی مصرف تشعشع (1/165 گرم در مگاژول) مربوط به رقم TMS و در شرایط آبیاری کامل + تلقیح باکتری *لیکنی فورمیس* وکم‌ترین میزان صفات مذکور مربوط به رقم کوثر و در شرایط قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف + بدون تلقیح باکتری بود. عملکرد دانه سویا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت، به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد دانه به‌میزان 380/9 گرم در مترمربع مربوط به رقم TMS در تیمار آبیاری کامل + تلقیح باکتری *سوبتیلیس* بود و کم‌ترین آن به‌میزان 134/2 گرم در مترمربع مربوط به رقم کوثر بود که در تیمار قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف + بدون باکتری مشاهده شد. به نظر می‌رسد در صورت کاهش مقدار آب قابل دسترس، تلقیح با باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه منجر به افزایش تحمل به تنش کمبود آب به‌ویژه در شرایط تنش ملایم می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش کمبود رطوبت، جذب تشعشع، شاخص‌های رشد، عملکرد دانه، کارایی مصرف تشعشع

مقدمه

دانه‌های روغنی به‌عنوان یکی از منابع عظیم انرژی و پروتئین شناخته می‌شوند. یکی از نیازهای اساسی روند رشد جمعیت در زمینه محصولات کشاورزی، تأمین روغن‌های گیاهی از دانه‌های روغنی است که تولیدات آن‌ها به مصارف مختلف صنعتی، خوراکی، لوازم بهداشتی و آرایشی می‌رسند. با توجه به اینکه تقریباً 94 درصد از مصرف روغن گیاهی کشور از طریق واردات تأمین می‌شود، لذا هرگونه تحقیق در این زمینه مفید می‌باشد (Parhizkar-Khajani et

1، 2 و 3- به‌ترتیب استادیار اکولوژی گیاهان زراعی، دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت و اصلاح نباتات و دانشیاران فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: F.mondani@razi.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.73655

al., 2012). سویا (.*Glycine max* L) از جمله لگوم‌هـای راهبـردی است که ارزش غذایی بسیار زیادی دارد. سویا به‌دلیـل اسـتفاده‌هـای فراوان دارویی و صنعتی بیش‌ترین سطح زیر کشت دانه‌های روغنـی (حدود 117 میلیون هکتـار) را در دنیـا دارا مـی‌باشـد و دارای تولیـد سالیانه‌ای در حدود 306 میلیون تن اسـت، بـه‌طـوری‌کـه ایـن گیـاه یک‌چهارم از روغن و دو سوم از پروتئین خوراکی جهان را فراهم می‌کند (FAO, 2017). مقدار تولید سویا در ایران با توجه به سطح زیـر کشت حدود 78 هزار هکتاری آن، درحدود 190 هزار تن گزارش شده است (FAO, 2017). روغن سویا علاوه بـر اسـیدهای چـرب اشـباع مانند اسید پالمتیک (62 درصد) و اسید استئاریک (یک درصد)، دارای اسیدهای چرب غیراشباع از جمله اسید اولئیـک (13 درصـد) و اسـید لینولنیک (63 درصد) می‌باشد (Vahadi & Gholinezhad, 2015).

تولید ماده خشک توسط گیاهان زراعی تـابعی از تشعشـع جـذب شده و کارایی مصرف تشعشع است که یک راهکار مؤثر و کارا بـرای کمّی کردن تجمع ماده خشک بوده و به‌عنوان ماده خشک تولید شده توسط گیاه به‌ازای جذب هر واحد تشعشع خورشیدی تعریف می‌شـود (Ahmadi et al., 2018; Kiniry et al., 1999). مقـادیر کـارایی مصرف تشعشع با توجه به گونه گیاهی، شرایط آب‌وهوایی، مـدیریت زراعی، مرحله رشدی گیاه، نحوه اندازه‌گیری و ترکیبات گیاهی تغییـر مـی‌کنـد (Noroozi-Shahri et al., 2018; Ahmadvand et al., 2017; Koocheki et al., 2009). از جمله عوامـل مـؤثر بـر تغییـر کارایی مصرف تشعشع تنش خشکی اسـت کـه بـیش از هـر عامـل محیطی دیگر باعث محدود شدن رشـد گیاهـان و کـاهش عملکـرد محصولات زراعی می‌شود. در مناطقی مانند ایـران کـه دارای اقلـیم مدیترانه‌ای هستند، میزان بارندگی کم بوده و بیش‌تر در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد و تنش خشکی مهم‌تـرین عامـل محـدودکننـده عملکرد است. کم بودن نزولات آسمانی و پراکنش زمـانی و مکـانی نامناسـب آن از واقعیت‌های غیرقابل اجتنـاب تولیـد محصـولات زراعـی در ایـران است. از این‌رو هر راهکـار مـدیریتی کـه قـادر بـه کاهش اثرات تنش خشکی بر رشد و تولید محصولات زراعی باشد، از ارزش بسیار بالایی برخوردار است (Çolak et al., 2015).

در دهه‌های اخیر در سیستم‌هـای کشـاورزی پایـدار، حفاظـت از موجودات زنده خاک‌زی و تلاش برای اسـتفاده از راهکارهـای بـوم‌سازگار جهت تغذیه گیاه و تأمین سلامت جامعه مورد توجه قرار گرفته است (Costa et al., 2015). از جمله راهکارهای مناسبی که می‌تواند گامی در جهت رسیدن به اهداف کشـاورزی پایـدار باشـد، تلقـیح بـا باکتری‌های تقویت‌کننده رشـد گیـاه (PGPR[1]) اسـت کـه از طریـق تحریک و تشدید رشدونمو گیاه موجـب افـزایش عملکـرد مـی‌شـوند (Armada et al., 2014; Ruzzi & Aroca, 2015). اگرچـه مکانیزم‌هایی که باکتری‌های تقویت‌کننـده رشـد در جهـت افـزایش عملکرد به‌کار می‌برند، به‌طور کامل شناخته شده نیست، امّا در حالت کلی می‌توان به افـزایش تـوان تولیـد هورمـون‌هـای محـرک رشـد، مشارکت در تثبیت زیستی نیتروژن، افزایش تحمل به تنش خشکی و شوری و مبارزه با پاتوژن‌های گیاهی از طریق تولید آنتی بیوتیک‌هـا اشـاره نمـود (Hokmalipour, 2017; Seyed Sharifi et al., 2016). برای مثال تلقیح بذر بـا بـاکتری‌هـای تقویـت‌کننـده رشـد، عملکرد دانه گندم نان (.*Triticum aestivum* L) را نسبت به شاهد در شرایط آبیـاری مطلـوب و تـنش خشـکی افـزایش داد (Habibi, 2015). تبسم و همکاران (Tabassum et al., 2017) دریافتنـد کـه باکتری‌های تقویت‌کننده رشد سویه *باسیلوس* در کنترل بیولوژیـک و ارتقای سلامت گیاهان مفید هستند و استفاده از این باکتری‌ها به‌طور قابل توجهی باعث افزایش رشد گیاه گردیـد. بنـابراین بـا توجـه بـه اهمیت تنش کمبود رطوبت و نقش آن در کاهش عملکرد محصولات زراعی و هم‌چنین لزوم افزایش میزان تولید روغن در کشـور، تحقیـق حاضر با هدف بررسی نقـش باکتری‌هـای تقویت‌کننده رشد بر برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های بوم‌شناختی فیزیولوژیک سویا تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیـق در سـال زراعـی 96-1395 در مزرعـه تحقیقـاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعـی دانشـگاه رازی کرمانشـاه (عـرض جغرافیایی 34 درجه و 21 دقیقه شمالی، طول جغرافیایی 47 درجه و 9 دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا 1316 متر) اجرا شد. اقلیم منطقـه با توجه تقسیم‌بندی اقلیمی آمبرژه جزء منـاطق سـرد و نیمـه‌خشـک دسته‌بندی شده است. متوسط بارندگی سالیانه 455 میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه منطقـه بـه‌ترتیـب، 22/6 و 5/9 درجـه سانتی‌گراد است. اطلاعات هواشناسی منطقه مورد بررسی بـه‌صـورت متوسط ماهیانه طی دوره رشد سویا در جدول 1 نشان داده شده است.

1- Plant Growth Promoting Rhizobactria

آنالیز خاک قبل از کاشت در عمق صفر تا 30 سانتی‌متر صورت پذیرفت و در نهایت خصوصیات فیزیکوشیمیایی محل آزمایش مشخص گردید (جدول 2).

جدول 1- اطلاعات هواشناسی کرمانشاه طی دوره رشد سویا در سال 1396

Table 1- The weather data for Kermanshah region during growth period of soybean at 2017

ماه Month	حداکثر دما T maximum (°C)	حداقل دما T minimum (°C)	متوسط دما T average (°C)	بارندگی Rain (mm)
فروردین April	18.1	6.2	12.15	132.5
اردیبهشت May	26.8	9.5	18.15	22.1
خرداد June	32.9	11.7	22.3	0
تیر July	38.3	17.7	28	0
مرداد August	39.2	18.7	28.95	0
شهریور September	36.9	14.8	25.85	0
مهر October	27.9	8	17.95	0

جدول 2- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک زمین آزمایش

Table 2- Soil physical and chemical properties of experimental field

عمق Depth (cm)	بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total N (%)	اسیدیته pH	پتاسیم قابل جذب Absorbable K (ppm)	فسفر قابل جذب Absorbable P (ppm)
0-30	رسی- سیلتی Clay-Silt	45.6	36.7	17.7	1.5	0.15	7.4	282.4	9.6

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های مختلف رطوبتی (I_1: قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه‌ها تا انتهای دوره رشد، I_2: قطع آبیاری از مرحله پایان تشکیل غلاف تا انتهای دوره رشد و I_3: آبیاری کامل در تمام طول فصل رشد، به‌عنوان عامل اصلی و سویه‌های باکتری تقویت‌کننده (B_1: بدون باکتری، B_2: *Bacillus subtilis*، B_3: *Bacillus licheniformis*) و ارقام سویای کوثر، M_9 و TMS به‌عنوان دیگر فاکتورها در نظر گرفته شد که از بخش اصلاح و نهال بذر مرکز تحقیقات کشاورزی تهیه شد. لازم به ذکر است که مبنای اعمال زمان آبیاری بر اساس 50 درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک برای گیاه سویا در نظر گرفته شد که توسط دستگاه اندازه‌گیری رطوبت خاک و به‌روش حجمی مشخص شد (Sarkar et al., 2015).

رقم کوثر جزء ارقام زودرس تا میان‌رس، با طول دوره رشد حدود 115 روز، جزء ارقام نیمه‌پابلند تا پابلند، عملکرد بالا و مقاوم به بیماری از جمله فیتوفتورا، رنگ بذر زرد با ناف سیاه، تیپ رشدی نامحدود، مقاومت به ریزش و خوابیدگی، وزن هزاردانه حدود 135 گرم و با درصد پروتئین حدود 34 درصد است. رقم M_9، جزء ارقام زودرس تا میان‌رس، طول دوره رشد آن حدود 120 روز، نیمه‌پابلند تا پابلند، تیپ رشدی نامحدود و چندشاخه، مقاوم به ریزش و خوابیدگی، رنگ بذر زرد با ناف سیاه، وزن هزاردانه 125 گرم و درصد پروتئین حدود 36 درصد است. رقم TMS جزء ارقام زودرس، طول دوره رشد حدود 105 تا 110 روز، نیمه پابلند، تیپ رشدی نامحدود و چند شاخه، مقاوم به ریزش و خوابیدگی، رنگ بذر زرد یکدست بدون ناف سیاه، وزن

هزاردانه حدود 125 گرم و درصد پروتئین حدود 35 درصد است.

عملیات آماده‌سازی بستر بذر در اوایل اردیبهشت ماه آغاز و کاشت در نیمه دوم اردیبهشت ماه به‌صورت خشکه‌کاری انجام شد. عملیات تهیه بستر بذر شامل شخم عمیق، دیسک زدن و ماله بود که در بهار همان سال انجام شد و سپس مزرعه توسط فاروئر ردیف‌بندی و کرت‌بندی گردید. هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به فاصله 50 سانتی‌متر و طول شش متر بود. تراکم نهایی مزرعه برای ارقام مختلف، 40 بوته در مترمربع در نظر گرفته شد (Khademhamzeh et al., 2004). به‌منظور تلقیح باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه ابتدا محلول مورد نظر (به‌نسبت 100 میلی لیتر در هزار (10 درصد) تهیه شد، سپس بذر ارقام سویا به‌مدت 10 دقیقه و سپس تا زمان خشک شدن کامل در آون 30 درجه سانتی‌گراد به‌مدت پنج تا شش ساعت قرار داده شد (Sharifi et al., 2010). در نهایت، بذور تلقیح‌شده توسط باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه قبل از کاشت توسط باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن (*Raizobiom japonicom*) به‌طور یکنواخت تلقیح و بلافاصله در عمق چهار تا پنج سانتی‌متری خاک با دست کاشته شد. آبیاری‌های به‌روش نشتی و مطابق نیاز گیاه هر هفت روز یک بار تا زمان اجرای تیمارهای قطع آبیاری انجام گرفت. لازم به ذکر است که در تیمار شرایط مطلوب رطوبتی آبیاری تا انتهای دوره رشد گیاه به‌طور منظم هر هفت روز یک بار انجام شد.

نمونه‌برداری‌ها شامل دو بخش نمونه تخریبی و نهایی بود. در بخش نمونه‌برداری‌های تخریبی که هر 14 روز یک بار صورت گرفت، در هر مرحله پنج بوته از هر کرت به‌صورت کاملاً تصادفی برداشت شد و سپس جهت اندازه‌گیری وزن خشک کل و شاخص سطح برگ به آزمایشگاه منتقل شد. سطح برگ با تصویربرداری از چند برگ از نمونه‌های هر تیمار و سپس انتقال آن به برنامه Digimizer.4.1.1.0 اندازه‌گیری شد. روش کار این گونه بود که سطح کل برگ را نسبت به مقیاس اندازه‌گیری که یک خط‌کش مدرج و دقیق بود، اندازه‌گیری و سپس به‌صورت دستی با تناسب میان نسبت وزن خشک برگ به مساحت آن (میانگین پنج بوته که از مساحت 1250 سانتی‌مترمربع برداشت شده بود)، مساحت برگ‌ها به‌تفکیک تیمارها در مترمربع زمین به‌دست آمد. برای تعیین ماده خشک کل نیز ابتدا نمونه‌ها به‌مدت 72 ساعت در دمای 70 درجه سانتی‌گراد آون قرار داده شد و سپس توسط ترازو وزن آن‌ها اندازه‌گیری گردید. هم‌چنین برای تخمین مقادیر وزن خشک کل روزانه بر حسب گرم در مترمربع (TDW) از برازش معادله زیر استفاده شد (Shoor et al., 2012):

$$\mathrm{TDW} = \frac{a}{(1 + b \times e^{(-c \times x)})}$$
معادله (1)

در این معادله؛ a: حداکثر وزن خشک کل، b: زمانی که روند وزن خشک کل وارد مرحله خطی رشد می‌شود، c: سرعت رشد نسبی و x: زمان بر حسب روز پس از سبز شدن است. هم‌چنین برای محاسبه سرعت رشد از روش مشتق‌گیری از معادله روند وزن خشک کل و برای محاسبه سرعت رشد نسبی نیز از مشتق از معادله سرعت رشد محصول استفاده شد (Gardner et al., 1985). به‌منظور محاسبه کارایی مصرف تشعشع[1] (RUE) ابتدا میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی کرمانشاه به‌روش ارائه شده توسط گودریان و ون لار (Goudriaan & Van Laar, 1993) محاسبه شد. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از ایستگاه هواشناسی کرمانشاه (مراجعه حضوری) اصلاح و نور جذب‌شده روزانه بر اساس مگاژول در مترمربع (I_{abs}) برای سویا بر اساس معادله 2 محاسبه شد (Tsubo et al., 2005):

$$I_{abs} = I_0 \times (1 - e^{-K \times LAI})$$
معادله (2)

در این معادله، I_0: میزان تشعشع خورشیدی رسیده به بالای تاج‌پوشش بر حسب مگاژول در مترمربع، K: ضریب خاموشی نور سویا است که معادل 0/65 در نظر گرفته شد (Ebadi et al., 2014) و LAI: شاخص سطح برگ روزانه که از طریق برازش معادله زیر روی داده‌های مشاهده شده شاخص سطح برگ تخمین زده شد (Loomis & Williams, 1963):

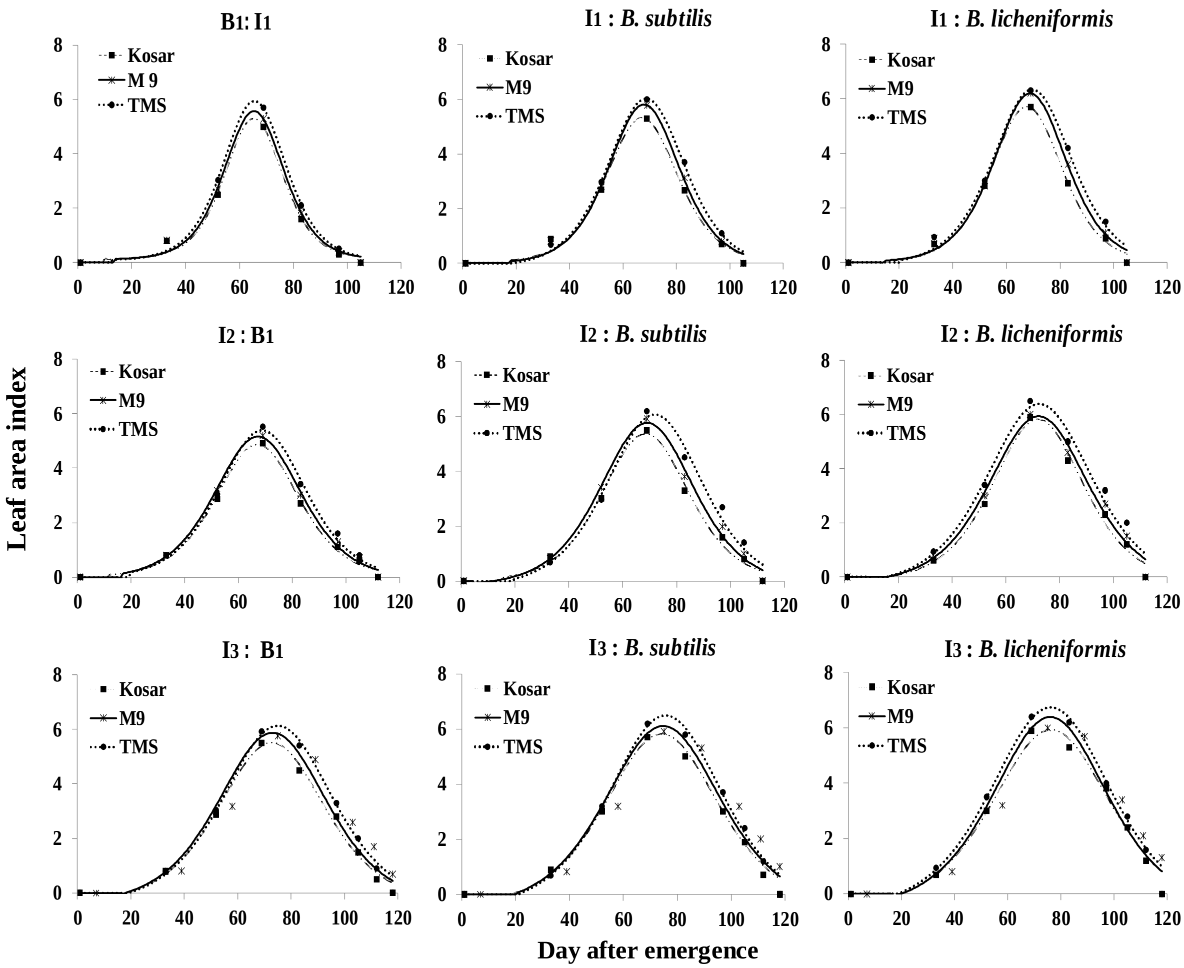
$$\mathrm{LAI} = \frac{a \times b \times 4 \times e^{\left(\frac{-(x-c)}{d}\right)}}{\left(1 + e^{\left(\frac{-(x-c)}{d}\right)}\right)^2}$$
معادله (3)

در این معادله، a: عرض از مبدأ، b: حداکثر شاخص سطح برگ، c: زمان رسیدن شاخص سطح برگ به حداکثر میزان خود و d: نقطه عطف منحنی است که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود. تشعشع جذب‌شده در هر مرحله نیز از حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی‌شده در درصد نور جذب‌شده به‌دست آمد و مقدار کل تشعشع جذب‌شده به‌صورت تجمعی از طریق حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر

1- Radiation Use Efficiency

تشعشع جذب‌شده نسبت به زمان محاسبه شد. در انتها کارایی مصرف تشعشع بر حسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین وزن خشک کل تجمعی (گرم بر مترمربع) و میزان تشعشع تجمعی (مگاژول بر مترمربع) برای هر یک از تیمارها به‌طور جداگانه محاسبه شد.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، جهت برداشت نهایی یک و نیم مترمربع از وسط کرت‌ها با رعایت اصول حاشیه به‌صورت کف‌بر برداشت شد و سپس عملکرد دانه پس از خشک شدن نمونه‌ها در دمای 70 درجه سانتی‌گراد آون به‌مدت زمان کافی، محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل داده‌های مستخرج از آزمایش نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9/4 انجام گرفت. هم‌چنین جهت تجزیه تکمیلی و فهم دقیق‌تر پاسخ فاکتورهای فرعی در هر سطح از فاکتورهای اصلی و برهم‌کنش آن‌ها از روش برش‌دهی اثرات متقابل در محیط نرم‌افزار SAS نسخه 9/4 استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. هم‌چنین برای برازش معادله‌ها و رسم نمودارها به‌ترتیب از نرم‌افزارهای Slidewrite نسخه دو و اکسل نسخه 2010 استفاده شد.



شکل 1- روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام سویا تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و تلقیح با سویه‌های باکتری

Fig. 1- Change trends of leaf area index for soybean cultivars affected as irrigation regimes and plant growth-promoting rhizobacteria

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ ارقام مختلف سویا در طول دوره رشد در تیمارهای مختلف آبیاری و تلقیح باکتریایی روند تغییرات نسبتاً یکسانی داشت، به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد روند شاخص سطح برگ کند و تدریجی بود و سپس تولید برگ توسط گیاه با سرعت زیادی افزایش یافت و در مرحله گل‌دهی (حدود 70 روز پس از سبز شدن) به حداکثر مقدار خود رسید و در انتهای دوره رشد به‌علت پیری و ریزش برگ‌های پایین تاج پوشش گیاهی به‌تدریج کاهش یافت (شکل 1).

صرف‌نظر از تیمارهای آبیاری و تلقیح باکتریایی، بالاترین (6/08) و پایین‌ترین (5/48) حداکثر شاخص سطح برگ به‌ترتیب در ارقام TMS و کوثر مشاهده شد (شکل 1). بالاترین میزان شاخص سطح برگ با میانگین 5/91 در شرایط آبیاری کامل مشاهده شد و با کاهش میزان آب آبیاری از آبیاری کامل به قطع آبیاری در اواسط تشکیل غلاف و شروع پر شدن دانه به‌ترتیب، 3/11 و 3/71 درصد کاهش یافت (شکل 1). نتایج این بررسی نشان داد که برهم‌کنش کاربرد باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه در تیمارهای آبیاری منجر به بهبود شاخص سطح برگ شد، به‌گونه‌ای که بالاترین شاخص سطح برگ سویا مربوط به رقم TMS و در شرایط آبیاری کامل + تلقیح باکتری *لیکنی فورمیس* به‌میزان 6/7 و در شرایط قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه + تلقیح باکتری *لیکنی فورمیس* به‌میزان 6/5 مشاهده شد (شکل 1). کم‌ترین میزان شاخص سطح برگ نیز مربوط به رقم کوثر و در شرایط قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف + بدون تلقیح به‌میزان 5/0 مشاهده شد (شکل 1). به‌طور کلی، نتایج این بررسی نشان داد که کاربرد باکتری‌های تقویت‌کننده رشد منجر به بهبود صفت شاخص سطح برگ سویا در شرایط تنش خشکی شد. به نظر می‌رسد همزیستی باکتری‌های تقویت‌کننده رشد با گیاه سویا از طریق گسترش سیستم ریشه و افزایش جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه در شرایط کمبود رطوبت منجر به بهبود فتوسنتز جاری و در ادامه انتقال مواد فتوسنتزی بیش‌تری به‌سمت برگ‌ها شده، که این این موضوع سبب افزایش شاخص سطح برگ گردید. سید شریفی و همکاران (Seyed Sharifi et al., 2016) در تحقیق خود نشان دادند که بیش‌ترین شاخص سطح برگ تریتیکاله در تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بود. حمیدی و همکاران (Hamidi et al., 2009) نشان دادند که تلقیح بذر ذرت علوفه‌ای با *آزوسپریلوم*، تعداد برگ‌های بالایی و تعداد برگ در هر بوته را افزایش داد و علت را به تولید هورمون‌های محرک رشد و وجود روابط مثبت بین گیاه و باکتری نسبت دادند.

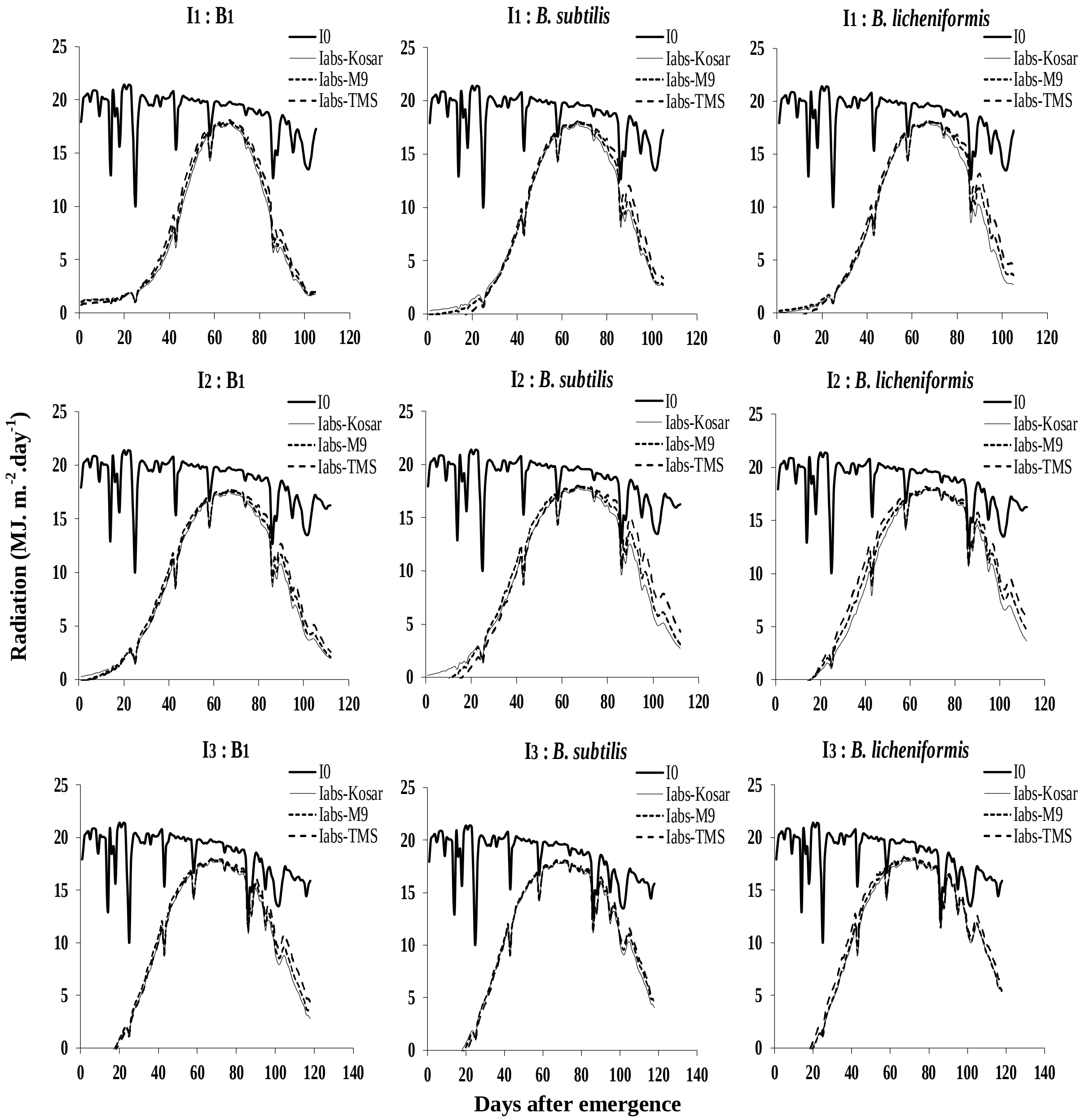
جذب تشعشع

نتایج نشان داد که روند جذب تشعشع توسط تاج پوشش گیاهی سویا از روند تغییرات شاخص سطح برگ تبعیت می‌کند، به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد، میزان جذب تشعشع پایین بود و در ادامه دوره رشد گیاه با افزایش شاخص سطح برگ جذب تشعشع نیز به‌تدریج افزایش یافت و در مرحله گل‌دهی به حداکثر مقدار خود رسید و سپس با کاهش شاخص سطح برگ به‌دلیل زوال برگ و ریزش برگ‌های پایین تاج پوشش گیاهی روند جذب تشعشع نیز کاهش یافت (شکل 2).

روند جذب تشعشع کانوپی سویا تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی قرار نگرفت (شکل 2) زیرا در تاج پوشش اکثر گیاهان زراعی حداکثر جذب تشعشع همزمان با بسته شدن تاج پوشش رخ می‌دهد که در این زمان شاخص سطح برگ حدود سه تا چهار می‌باشد (Nassiri-Mahallati et al., 2015). بنابراین این نتیجه دور از ذهن نبود که ارقام مختلف سویا از نظر حداکثر جذب تشعشع اختلاف چندانی با یکدیگر نداشته باشند، زیرا در تیمارهای مورد ارزیابی شاخص سطح برگ ارقام سویا بیش‌تر از چهار بود (شکل 1). با این وجود بیش‌ترین میزان جذب تشعشع در رقم TMS به‌میزان 18/2 مگاژول در مترمربع در شرایط تیمار آبیاری کامل و تلقیح باکتری *لیکنی فورمیس* و کم‌ترین آن به‌میزان 17/5 مگاژول در مترمربع در رقم کوثر و تیمار قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف و بدون تلقیح باکتری مشاهده شد.

سرعت رشد محصول

نتایج آزمایش بیانگر روند مشابه سرعت رشد محصول در کلیه تیمارهای مورد مطالعه بود، به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد در مراحل گیاهچه‌ای به‌دلیل پایین بودن سطح برگ و جذب تشعشع خورشیدی سرعت رشد سویا روندی کند داشت (شکل 3).



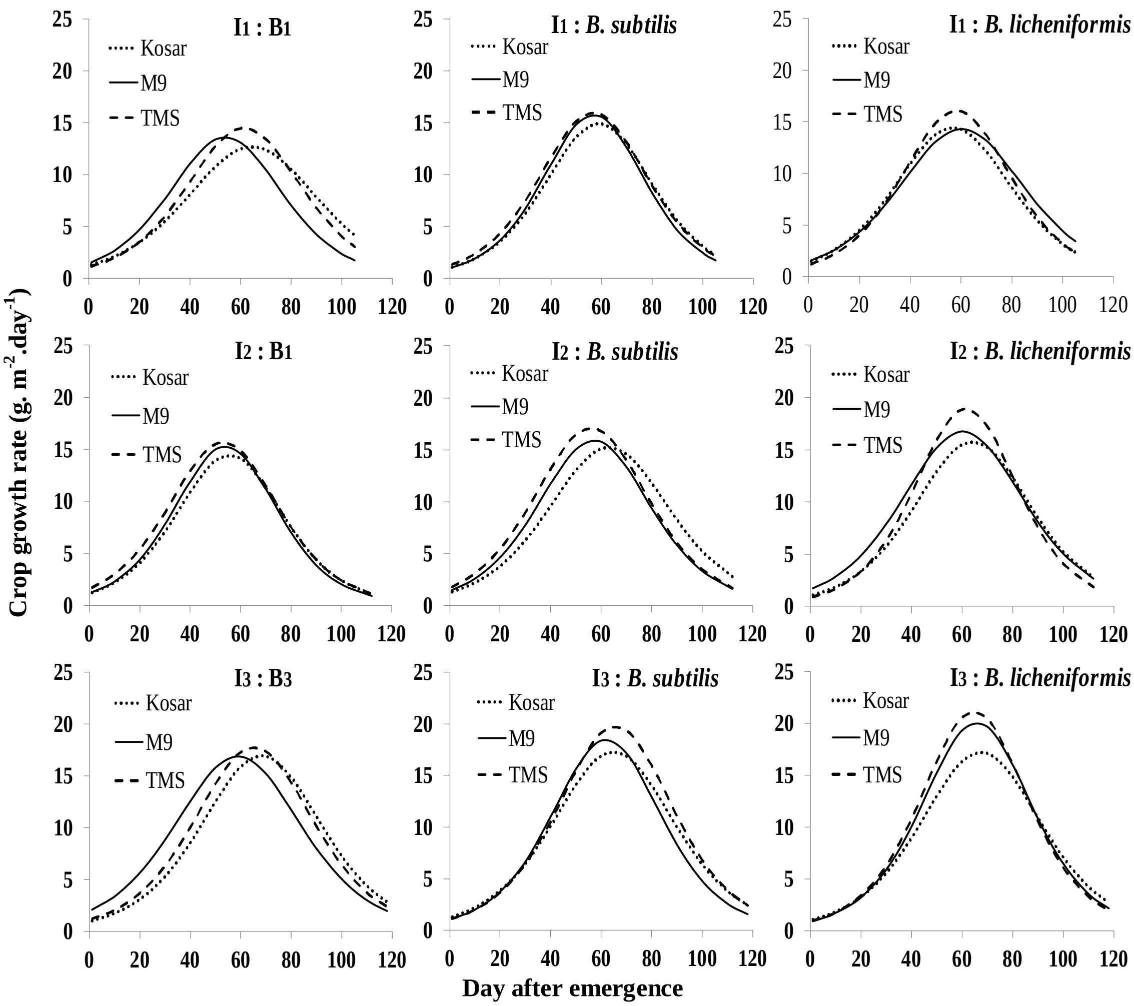
شکل 2- روند تغییرات جذب تشعشع ارقام سویا تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و تلقیح با سویه‌های باکتری

Fig. 2- Change trends of radiation absorption for soybean cultivars affected as irrigation regimes and plant growth-promoting rhizobacteria

بعد از گذشت حدود 30 روز پس از سبز شدن به‌دلیل توسعه سطح برگ و افزایش جذب تشعشع و در نتیجه امکان فتوسنتز بیش‌تر، سرعت رشد محصول شدت یافت و در اواسط دوره رشد و همزمان با حداکثر شاخص سطح برگ (حدود 70 روز پس از سبز شدن) به حداکثر میزان خود رسید و سپس به‌دلیل زوال برگ‌ها و کاهش تولید مواد فتوسنتزی دچار نزول شد (شکل 3).

حداکثر سرعت رشد محصول ارقام TMS، M_9 و کوثر به‌ترتیب به‌میزان 17/2، 16/2، 15/2 گرم در مترمربع در روز مشاهده شد

(شکل 3). همان‌طور که در شکل 3 دیده می‌شود روند سرعت رشد محصول در سویا با کاهش سطح آبیاری کاهش یافت، به‌طوری‌که در تیمار قطع آبیاری در اواسط تشکیل غلاف و شروع پر شدن دانه، روند کاهش سرعت رشد محصول نسبت به تیمار آبیاری کامل بیش‌تر بود، هم‌چنین رقم TMS با داشتن شاخص سطح برگ بالاتر، سرعت رشد محصول بالاتری نسبت به دیگر ارقام داشت. از جمله دلایل تفاوت در بالاتر بودن سرعت رشد محصول در گیاهان مختلف، اختلاف در جذب نور می‌باشد. همان‌گونه که نتایج این بررسی نشان می‌دهد تنش کمبود رطوبت منجر به کاهش شاخص سطح برگ و میزان جذب نور توسط ارقام مختلف سویا گردید که این موضوع سبب کاهش سرعت رشد محصول در شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط رطوبت مطلوب شد.



شکل 3- روند تغییرات سرعت رشد محصول ارقام سویا تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و تلقیح با سویه‌های باکتری

Fig. 3- Change trends of crop growth rate for soybean cultivars affected as irrigation regimes and plant growth-promoting rhizobacteria

بالاترین سرعت رشد محصول نیز در بین تیمارهای مورد بررسی با 20/6 گرم در مترمربع در روز مربوط به رقم TMS در شرایط تیمار آبیاری کامل به‌همراه تلقیح باکتری *لیکنی فورمیس* و کم‌ترین آن با 12/4 گرم در مترمربع در روز مربوط به رقم کوثر در شرایط تیمار قطع آبیاری در اواسط تشکیل غلاف و بدون تلقیح باکتری بود. سیدی و سید شریفی (Seiedi & Seyed Sharifi, 2013) در تحقیق خود نشان دادند که بالاترین و پایین‌ترین سرعت رشد محصول سویا به‌ترتیب مربوط به تیمارهای تلقیح باکتری و عدم

تلقیح بود. هم‌چنین سید شریفی (Seyed sharif, 2015) در تحقیقی دیگر، گزارش کرد که بیش‌ترین سرعت رشد محصول سویا (9/5 گرم بر مترمربع در روز) در ترکیب تیماری محلول‌پاشی نانو اکسید روی و تلقیح توأم بذر با باکتری‌های محرک رشد و کم‌ترین آن (5/4 گرم بر مترمربع در روز) در حالت عدم تلقیح بذر و عدم مصرف نانو اکسید روی به‌دست آمد.

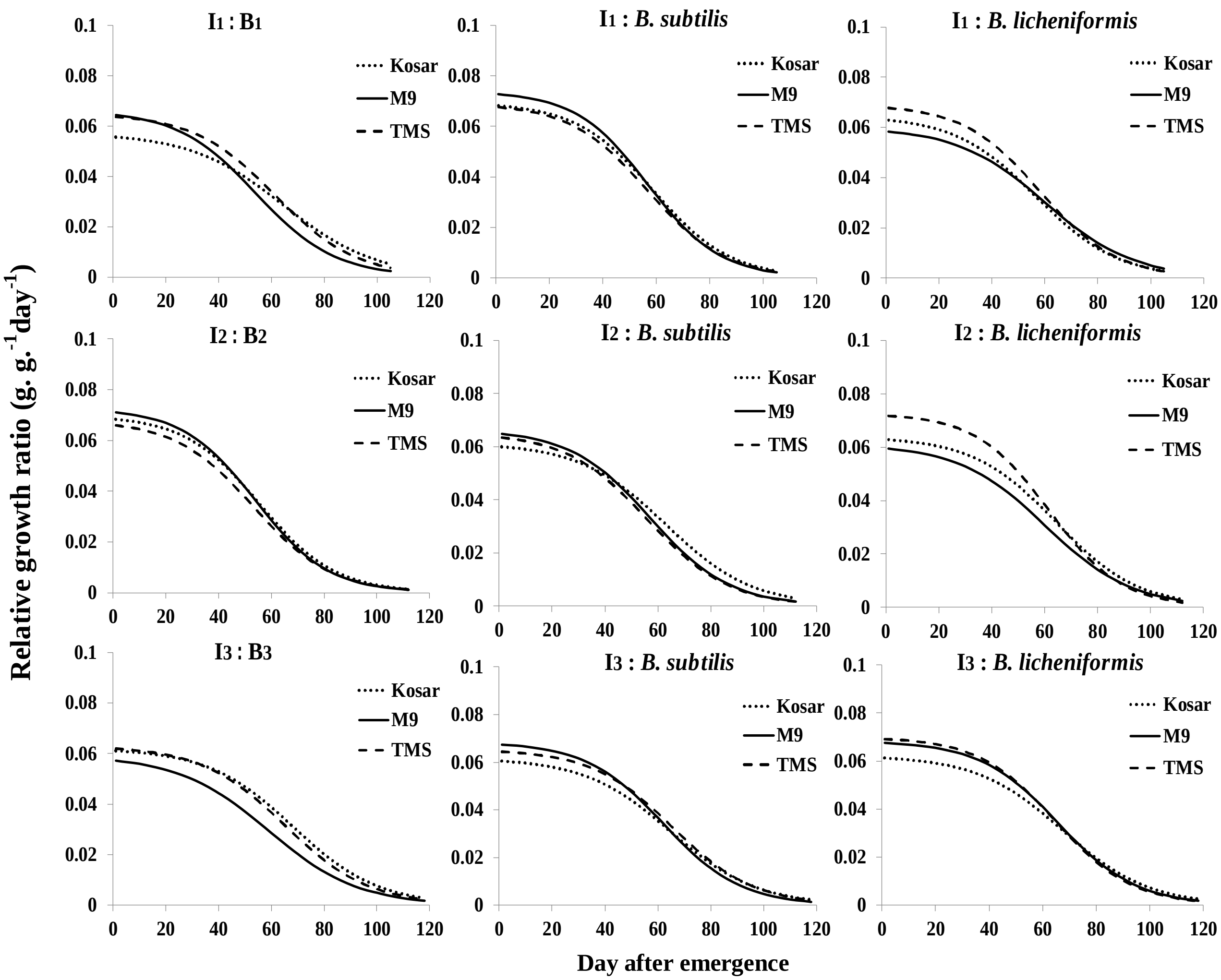
سرعت رشد نسبی

در تیمارهای مورد آزمایش سرعت رشد نسبی روند تقریباً مشابهی داشت، به‌نحوی که سرعت رشد نسبی در مراحل اولیه و گیاهچه‌ای به‌دلیل پایین بودن هزینه‌های تنفس نگهداری بوته‌ها، به‌علت وزن خشک کم آن‌ها، بالا بود و سپس به‌تدریج کاهش یافت (شکل 4). به نظر می‌رسد کاهش سرعت رشد نسبی به‌دلیل افزایش بافت ساختمانی نسبت به بافت‌های فعال‌تر از لحاظ متابولیکی و در نهایت افزایش تنفس نگهداری گیاه باشد. هم‌چنین سایه‌اندازی بافت‌های بالاتر بر بافت‌های زیرین نیز بر این افت مؤثر بود.

صرف‌نظر از ارقام سویا و تلقیح باکتریایی، با قطع آبیاری در اواسط تشکیل غلاف، میزان کاهش سرعت رشد نسبی بیش‌تر شد (شکل 4). بالاترین میانگین سرعت رشد نسبی با 0/065 گرم بر گرم در روز در تیمار قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و کم‌ترین آن با 0/063 گرم بر گرم در روز در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد. هرچند این برتری نمی‌تواند به‌دلیل قطع آبیاری باشد، چرا که در ابتدای فصل رشد، کلیه تیمارها به‌طور یکسان آبیاری شده‌اند، با این حساب می‌توان علت بیش‌تر بودن و یا کم‌تر بودن را به نقش ارقام و تلقیح باکتری دانست (شکل 4). صرف‌نظر از تیمارهای مورد بررسی، به‌طور میانگین در بین ارقام سویا، رقم TMS سرعت رشد نسبی بالاتری داشت، به‌نحوی که بالاترین سرعت رشد نسبی به‌ترتیب با 0/066، 0/064 و 0/062 گرم بر گرم در روز در ارقام TMS، M_9 و کوثر مشاهده شد (شکل 4). به نظر می‌رسد رقم TMS با داشتن شاخص سطح برگ بالاتر و کارایی جذب و مصرف نور بالاتر، میزان سرعت رشد نسبی بالاتری نسبت به دیگر ارقام داشته باشد. نتایج این بررسی هم‌چنین نشان داد که بالاترین سرعت رشد نسبی در بین تیمارهای مورد بررسی با 0/072 گرم بر گرم در روز مربوط به رقم M_9 در شرایط قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و تلقیح باکتری *سوبتیلیس* و کم‌ترین آن با 0/055گرم بر گرم در روز مربوط به رقم کوثر در تیمار قطع آبیاری در اواسط تشکیل غلاف و بدون تلقیح باکتری بود که این نتیجه به نظر می‌رسد صرفاً به‌دلیل نوع باکتری و نوع رقم در ابتدای فصل رشد باشد، چرا که در ابتدای فصل رشد، آبیاری در کلیه تیمارها به‌طور یکسان بود (شکل 3). برتری رقم M_9 در تیمار قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و تلقیح باکتری *سوبتیلیس* نسبت به رقم TMS در تیمار قطع آبیاری از شروع پرشدن دانه و تلقیح با باکتری *لیکنی فورمیس* (0/071) تنها 1/2 درصد بود، در حالی که میانگین سرعت رشد نسبی ارقام در کلیه تیمارها نشان داد که رقم TMS نسبت به رقم‌های M_9 و کوثر به‌ترتیب 2/2 و 5/9 درصد برتری دارد. سرعت رشد نسبی محصول بیان‌کننده سرعت افزایش وزن خشک گیاه نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی معین است. علت کاهش سرعت رشد نسبی در طول فصل رشد را می‌توان به افزایش سن برگ‌ها (به‌ویژه برگ‌های پایین‌تر تاج‌پوشش)، سایه‌اندازی برگ‌ها روی یکدیگر و در نتیجه کاهش راندمان فتوسنتزی آن‌ها و نیز افزایش بافت‌های ساختمانی که در فتوسنتز نقشی نداشته و در نتیجه باعث افزیش هزینه‌های تنفس نگهداری گیاه می‌شود، نسبت داد. به نظر می‌رسد قطع آبیاری در اواسط تشکیل غلاف و پر شدن دانه از طریق کاهش شاخص سطح برگ و کاهش جذب نور و کارایی مصرف نور به‌ویژه در اواسط مراحل نموی گیاه منجر به کاهش کارایی سیستم فتوسنتزی ارقام سویا شد و از این طریق سرعت کاهش سرعت رشد نسبی در تیمارهای قطع آبیاری نسبت به آبیاری کامل بیش‌تر بود (شکل 4). هم‌چنین سرعت رشد نسبی بسته به تغییرات وضعیت فتوسنتز و تنفس گیاه تغییر می‌یابد و به همین دلیل با افزایش سن برگ‌های پایین‌تر و نیز کاهش سرعت رشد محصول، مقدار آن در اواخر فصل رشد کاهش می‌یابد (Gülser, 2005).

وزن خشک کل

در اوایل دوره رشد به‌علت کوچک بودن بوته‌ها و شاخص سطح برگ و در نتیجه جذب نور و فتوسنتز کم تولید وزن خشک نیز پایین بود، امّا به‌تدریج و پس از عبور از مرحله رشد نمایی با وارد شدن به مرحله رشد خطی به‌دلیل افزایش شاخص سطح برگ، میزان فتوسنتز تاج‌پوشش نیز افزایش یافته و شیب منحنی تجمع وزن خشک کل شدت بیش‌تری به خود گرفت و بعد از آن در انتهای دوره رشد گیاه به‌علت پیری و ریزش برگ‌ها و افزایش میزان تنفس نگهداری وارد مرحله رشد ثابت گردید (شکل 5).

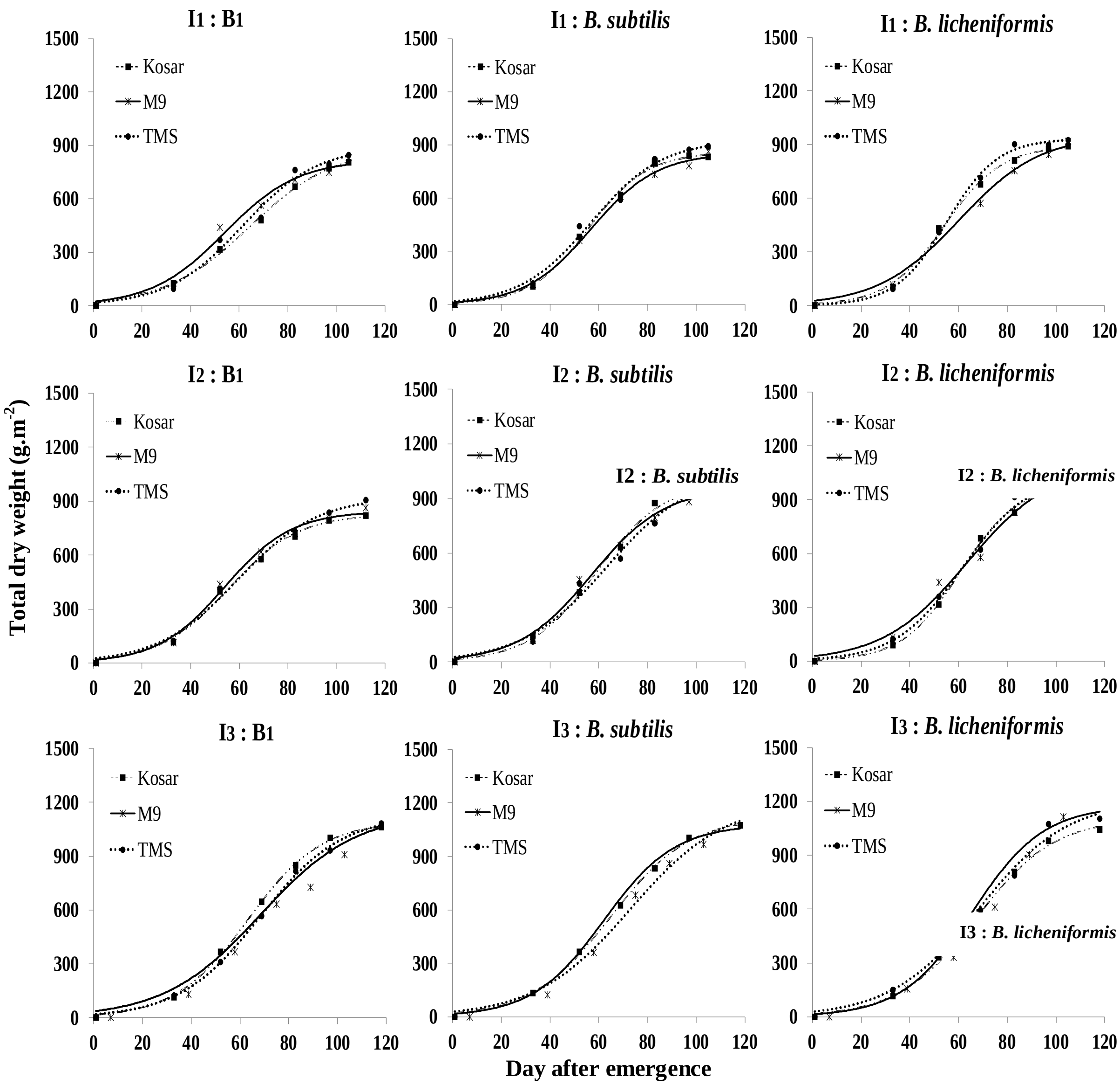


شکل 4- روند تغییرات سرعت رشد نسبی ارقام سویا تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و تلقیح با سویه‌های باکتری

Fig. 4- Change trends of relative growth ratio for soybean cultivars affected as irrigation regimes and plant growth-promoting rhizobacteria

صرف‌نظر از سطوح مختلف آبیاری و تلقیح باکتریایی بالاترین و پایین‌ترین حداکثر میزان وزن خشک کل با 979/8 و 941/3 گرم در مترمربع به‌ترتیب در ارقام TMS و کوثر مشاهده گردید. بالاترین وزن خشک کل با 1080/3 گرم در مترمربع در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد و با کاهش سطوح آبیاری از آبیاری کامل بـه قطـع آبیـاری در اواسط تشکیل غلاف و از شروع پر شدن دانـه بـه‌ترتیـب بـا 20/0 و 12/6 درصد کاهش به حدود 864/2 و 944/3 گرم در مترمربع تقلیل یافت (شکل 4). صرف‌نظر از تیمار آبیاری و رقم در تیمارهای تلقـیح باکتریایی بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک کل بـا 997/1 و 922/3 گرم در مترمربع به‌ترتیب در شرایط تلقیح با باکتری *لیکنی فورمیس* و بدون تلقیح مشاهده شد (شـکل 5). بـرهم‌کـنش کـاربرد بـاکتری و سطوح آبیاری نیز نشان داد که بالاترین و پایین‌ترین وزن خشک کل به‌میزان 1082/8 و 828/1 گرم در مترمربع به‌ترتیب در شرایط تیمـار آبیاری کامل + تلقیح باکتری *سوبتیلیس* و تیمار قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف و بـدون تلقـیح مشـاهده شـد (شـکل 5). هـم‌چنـین بیش‌ترین وزن خشک کل (1104/7 گرم در مترمربع) مربوط به رقـم

TMS در شرایط آبیاری کامل و تلقیح باکتری *لیکنی فورمیس* و کم‌ترین آن (805/9 گرم در مترمربع) مربوط به رقم کوثر در شرایط قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف و بدون تلقیح باکتری مشاهده گردید (شکل 5).



شکل 5- روند تغییرات وزن خشک کل ارقام سویا تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و تلقیح با سویه‌های باکتری

Fig. 5 - Change trends of total dry weight for soybean cultivars affected as irrigation regimes and plant growth-promoting rhizobacteria

تولید ماده خشک، انعکاسی از فتوسنتز خالص گیاه است. ماده خشک تولیدی یا به مصرف رشد گیاه رسیده و یا در اندام‌های ذخیره‌ای تجمع می‌یابد که می‌تواند تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی باشد. عدم دسترسی به آب در مراحل حساس رشد، به‌دلیل رشد کم‌تر اندام زایشی و رویشی منجر به تولید ماده فتوسنتزی کم‌تر و تجمع وزن خشک اندک می‌گردد. با توجه به این که عوامل مؤثر بر

رشد و تولیدات گیاه، میزان جذب تشعشع توسط برگ‌ها و تبدیل آن‌ها به ترکیبات فتوسنتزی است، بنابراین، افزایش مصرف آب باعث افزایش تعداد و گسترش برگ‌ها و افزایش میزان جذب تشعشع می‌شود که در نهایت، منجر به افزایش تولید ماده خشک کل می‌گردد. به نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های تقویت‌کننده رشد توانستند از طریق افزایش سطح برگ، سرعت رشد محصول و جذب تشعشع منجر به بهبود فتوسنتز گیاه و در نهایت، وزن خشک کل در شرایط تنش کمبود رطوبت به‌ویژه از مرحله تشکیل دانه به بعد گردد. در تحقیقی دیگر نیز تلقیح باکتری‌های تقویت‌کننده رشد موجب افزایش وزن خشک ساقه سویا گردید (Tajik-Khaveh et al., 2011). بشارتی و همکاران (Besharati et al., 2017) اظهار داشتند که کاربرد باکتری‌های تقویت‌کننده رشد منجر به بهبود وزن خشک اندام‌های هوایی، وزن خشک ریشه، تعداد گره، تعداد غلاف و عملکرد دانه شد.

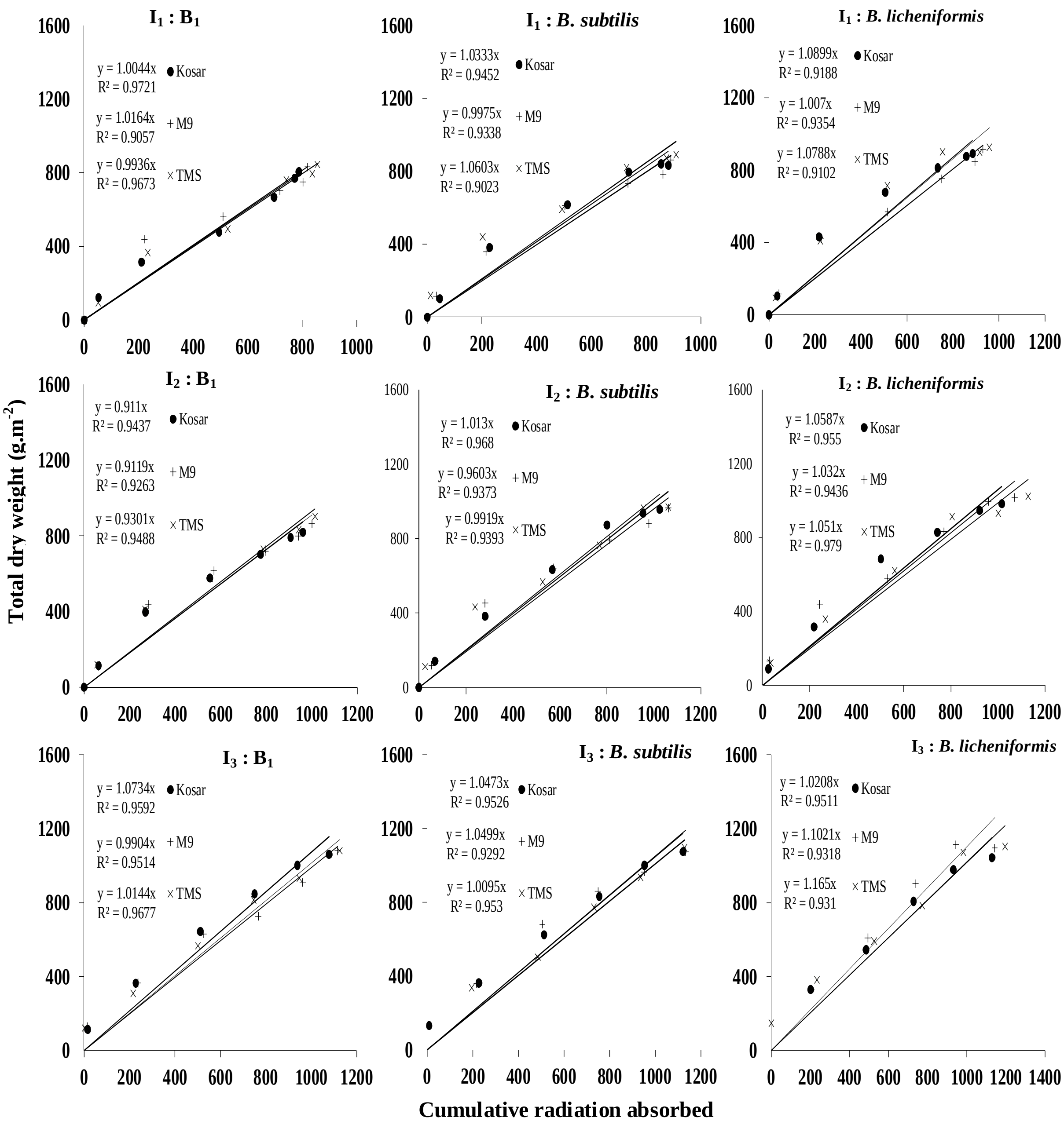
کارایی مصرف تشعشع

کارایی مصرف تشعشع سویا با کاهش سطح آبیاری کاهش یافت، به‌طوری‌که در تیمار آبیاری کامل کارایی مصرف نور 1/04 گرم در مگاژول و در تیمارهای قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و تشکیل غلاف کارایی مصرف تشعشع به‌ترتیب 1/01 و 0/98 گرم در مگاژول بود که نسبت به تیمار آبیاری کامل به‌ترتیب 3/3 و 6/0 درصد کاهش یافت (شکل 6). می‌توان علت این کاهش را تأثیر تنش خشکی در اواسط پر شدن دانه و تشکیل غلاف بر مقدار تولید وزن خشک نسبت به تشعشع جذب شده دانست. ارزیابی کارایی مصرف تشعشع ارقام مورد بررسی در کلیه تیمارها نیز نشان داد که بالاترین کارایی مصرف تشعشع 1/038 گرم در مگاژول مربوط به رقم TMS و کم‌ترین آن مربوط به رقم M_9 به‌میزان 0/993 گرم در مگاژول بود (شکل 6).

هم‌چنین بالاترین کارایی مصرف تشعشع در بین تیمارهای مورد بررسی با 1/165 گرم در مگاژول مربوط به رقم TMS در شرایط تیمار آبیاری کامل و به همراه تلقیح باکتری *لیکنی فورمیس* و کم‌ترین آن با 0/844 گرم در مگاژول مربوط به رقم کوثر در تیمار قطع آبیاری در اواسط تشکیل غلاف و بدون تلقیح باکتری بود. کارایی مصرف تشعشع عبارت از شیب‌خط رگرسیونی برازش‌یافته روی تغییرات وزن خشک تجمعی در برابر تشعشع تجمعی جذب‌شده است. در تمامی تیمارهای مورد بررسی در ارقام سویا، ضریب تبیین تقریباً بالاتر از 0/9 بود که بیانگر دقت بالای کارایی مصرف تشعشع محاسبه شده بود. به نظر می رسد قطع آبیاری در اواسط تشکیل غلاف با تأثیر بر کاهش سطح برگ از طریق کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک باعث کاهش کارایی مصرف تشعشع شد. هم‌چنین آبیاری کامل به همراه تلقیح باکتری از طریق افزایش سطح برگ، سرعت رشد محصول و به همراه آن افزایش تولید وزن خشک کل، باعث افزایش کارایی مصرف تشعشع نسبت به دیگر تیمارها شد. از طرفی برای دست‌یابی به عملکرد مطلوب نیاز به توسعه سریع تاج‌پوشش، دست‌یابی سریع‌تر به حداکثر شاخص سطح برگ برای جذب حداکثر تشعشع و تکمیل رشد در زمان مطلوب است که با توجه به روند شاخص سطح برگ و وزن خشک کل، آبیاری کامل به همراه تلقیح باکتری در رقم TMS، از طریق افزایش فتوسنتز و ماده خشک کل باعث بهبود کارایی مصرف تشعشع شد. در تحقیق دیگری کارایی مصرف تشعشع ایزولاین‌های سویا محاسبه و بیان شد که بالاتر بودن کارایی مصرف تشعشع ناشی از شاخص سطح برگ بیش‌تر و دوام طولانی‌تر آن، توزیع و آرایش بهتر برگ‌ها در کانوپی و اختصاص کم‌تر مواد فتوسنتزی به رشد زایشی بود (Deoliveira et al., 2009; Ellis at al., 2000).

عملکرد دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمارهای آبیاری، باکتری، رقم و برهم‌کنش آبیاری در باکتری بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول 3). صرف‌نظر از ارقام سویا و تلقیح باکتری، با تغییر میزان آب آبیاری از سطح آبیاری کامل به قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف عملکرد دانه به‌ترتیب با 33/8 و 59/8 درصد خسارت، از 373/3 به 247/2 و 149/9 گرم در مترمربع کاهش یافت. بدون در نظر گرفتن تیمار آبیاری و ارقام سویا، تلقیح باکتری نسبت به عدم تلقیح منجر به بهبود عملکرد دانه شد، به‌نحوی که بیش‌ترین عملکرد دانه به‌میزان 268/7 گرم در مترمربع در شرایط تلقیح بذور با باکتری *لیکنی فورمیس* و کم‌ترین آن به‌میزان 234/1 گرم در مترمربع در شرایط بدون باکتری مشاهده شد. صرف‌نظر از سطوح مختلف آبیاری و تلقیح باکتری، بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به رقم TMS به‌میزان 264/2 گرم در مترمربع و رقم کوثر به‌میزان 250/3 گرم در مترمربع بود.



شکل 6- تغییرات کارایی مصرف تشعشع ارقام سویا تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و تلقیح با سویه‌های باکتری

Fig. 6- Change of radiation use efficiency for soybean cultivars affected as irrigation regimes and plant growth-promoting rhizobacteria

جدول 3- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه ارقام سویا تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری، سویه‌های مختلف باکتری و برهم‌کنش آن‌ها

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for effects of irrigation regimes, PGPR and their interaction on grain yield of soybean cultivar

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares
بلوک Block	2	344.82*
رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	2	338581.78**
(بلوک×آبیاری) اشتباه a Error a (Block×Irrigation Regimes)	2	774.1**
باکتری Bacteria	2	10475.36**
رقم Cultivar	2	1301.12**
آبیاری×باکتری Bacteria×Irrigation regimes	4	1361.70**
آبیاری×رقم Cultivar×Irrigation regimes	4	63.41ns
رقم×باکتری Bacteria×Cultivar	4	50.80ns
آبیاری×باکتری×رقم Cultivar×Irrigation regimes×Bacteria	8	65.93ns
خطا Error	48	120
کل Total	80	
ضریب تغییرات Coefficient of variance (%)		14.3

برش‌دهی اثرات متقابل: میانگین مربعات کاربرد سویه‌های باکتری در هر سطح رژیم آبیاری

Interactions slicing: Mean squares of bacteria application in every level of irrigation regimes

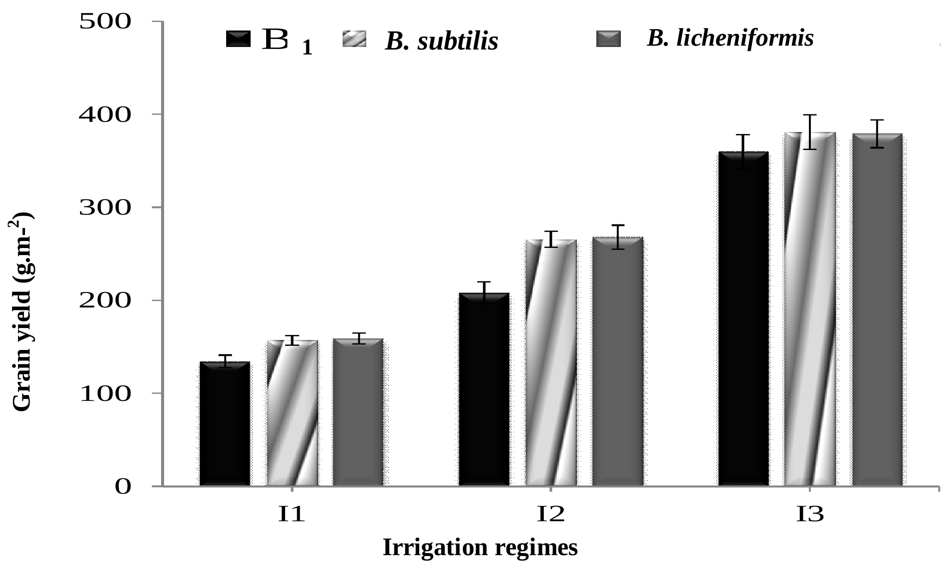
رژیم آبیاری Irrigation regimes	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares
آبیاری مطلوب Optimum irrigation	2	1219.89**
قطع آبیاری از پر شدن دانه Water deficit stress from grain filling	2	10285.00**
قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف Water deficit stress from mid pod	2	1693.44**

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال 5 و 1 درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار.

* and ** are significant difference at the 5 and 1% probability levels, respectively and ns is non-significant difference.

نتایج برش‌دهی برهم‌کنش کاربرد سویه‌های مختلف باکتری در هر سطح رژیم آبیاری نیز نشان از تغییرات معنی‌دار عملکرد دانه در کلیه سطوح آبیاری داشت (جدول 2). بیش‌ترین عملکرد دانه به‌میزان 380/9 گرم در مترمربع در تیمار آبیاری کامل و تلقیح با باکتری *سوبتیلیس* و کم‌ترین آن به‌میزان 134/2 گرم در مترمربع در تیمار قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف و بدون باکتری مشاهده شد (شکل 7). در تیمار آبیاری کامل، تلقیح با باکتری‌های *لیکنی فورمیس* (379/2 گرم در مترمربع) و *سوبتیلیس* (380/9 گرم در مترمربع) نسبت به شرایط عدم تلقیح باکتری (359/9 گرم در مترمربع) به‌ترتیب، 5/1 و 5/5 درصد عملکرد دانه بیش‌تری داشت، هرچند این برتری از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (شکل 7). در تیمار قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه، تلقیح با باکتری‌های *لیکنی فورمیس* (267/9 گرم

در مترمربع) و *سوبتیلیس* (265/5 گرم در مترمربع) نسبت به شرایط عدم تلقیح باکتری (208/1 گرم در مترمربع) به‌ترتیب، 22/3 و 21/6 درصد عملکرد دانه بیش‌تری داشت (شکل 7). در تیمار قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف، تلقیح با باکتری‌های *لیکنی فورمیس* (158/9 گرم در مترمربع) و *سوبتیلیس* (156/9 گرم در مترمربع) نسبت به شرایط عدم تلقیح باکتری (134/2 گرم در مترمربع) به‌ترتیب، 15/5 و 14/5 درصد عملکرد دانه بیش‌تری داشت (شکل 7). بهبود عملکرد ناشی از تلقیح باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه در تیمارهای قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف و قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه معنی‌دار بود. به نظر می‌رسد در شرایط تنش کمبود رطوبت باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه از طریق اثر بر فعالیت ریشه و افزایش سطح جذب آب منجر به بهبود شاخص سطح برگ و جذب تشعشع گردید که بهبود فتوسنتز گیاه را در پی داشت که خود باعث افزایش سرعت رشد و تولید وزن خشک تولید شد و در نهایت، منجر به افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به بخش‌های ذخیره‌ای گیاه و عملکرد دانه گردید.



شکل 7- برهم‌کنش اثرات سطوح مختلف رژیم‌های آبیاری و کاربرد سویه‌های باکتری بر عملکرد دانه ارقام سویا

Fig. 7- Interaction of effect of irrigation regimes and plant growth-promoting rhizobacteria on grain yield of soybean

B_1 نشان‌دهنده شرایط عدم کاربرد باکتری و I_1، I_2 و I_3 نیز به‌ترتیب نشان‌دهنده شرایط قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه‌ها تا انتهای دوره رشد، قطع آبیاری از مرحله پایان تشکیل غلاف تا انتهای دوره رشد و آبیاری کامل در تمام طول فصل رشد است. خطوط بار نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) است.

B_1 show no bacteria condition and I_1, I_2 and I_3 show water deficit stress from mid pod development stage to maturity stage, water deficit stress from grain filling development stage to maturity stage, and optimum irrigation in all development stages. Vertical bars show standard error.

اکبری نودهی (Akbari, 2012) بیان کرد که بیش‌ترین عملکرد دانه سویا در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد و با قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه عملکرد کاهش یافت. هم‌چنین نتایج ارزیابی تحمل تنش خشکی در برخی ارقام سویا نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه با 3630 کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری کامل بود و با تنش ملایم و تنش شدید عملکرد دانه کاهش یافت (Vahadi & Gholinezhad, 2015). دیوسالار و همکاران (Divsalar et al., 2016) در تحقیق خود بیان کردند که قطع آبیاری در مرحله تشکیل غلاف و پر شدن دانه سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد، این کاهش از طریق افزایش ریزش غلاف و کوچک شدن دانه صورت گرفت. دباغیان و همکاران (Dabaghian et al., 2015) نیز دریافتند که کاربرد باکتری‌های همزیست (*ازتوباکتر و آزوسپیریلوم*) می‌تواند

باعث بهبود عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد باکتری گردد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش تنش کمبود آب ناشی از کاهش تعداد دفعات آبیاری ویژگی‌های مورد ارزیابی گیاه سویاه به‌شدت کاهش یافت. هم‌چنین کاربرد سویه‌های مختلف باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه منجر به بهبود ویژگی‌های مورد ارزیابی سویا شد. در بین باکتری‌های محرک رشد *لیکنی مورفیس* و *سوبتیلیس* تفاوت شدیدی از نظر بهبود ویژگی‌های مورد ارزیابی مشاهده نشد، با این وجود نسبت به تیمار عدم تلقیح تفاوت معنی‌دار بود که می‌توان نتیجه گرفت کاربرد باکتری‌های محرک رشد سویا باعث افزایش تحمل به تنش کمبود آب به‌ویژه در مراحل انتهای رشد گیاه می‌شود. در بین ارقام مورد بررسی بیش‌ترین عملکرد دانه (380/9 گرم در مترمربع) و وزن خشک کل (1104/7 گرم در مترمربع)، به‌علت ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک برتر، مربوط به رقم TMS و کم‌ترین آن‌ها مربوط به رقم کوثر بود. در شرایط تنش کمبود رطوبت کاربرد سویه‌های باکتری تقویت‌کننده رشد گیاه منجر به بهبود ویژگی‌های مورد ارزیابی سویا گردید. بیش‌ترین تأثیر کاربرد سویه‌های باکتری تقویت‌کننده رشد گیاه در شرایط قطع آبیاری از شروع دوره پر شدن دانه مشاهده گردید. اگرچه کاربرد باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه منجر به تعدیل تنش خشکی مراحل انتهایی رشد سویا شد، ولی در شرایط تنش ملایم (قطع آبیاری از شروع دوره پر شدن دانه) در مقایسه با تنش شدید (قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف) نقش باکتری‌ها بیش‌تر بود. بنابراین، می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که تلقیح با باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه در شرایط تنش رطوبتی ملایم کارآمدتر است.

References

Ahmadi, M., Mondani, F., Khorramivafa, M., Mohammadi, G., and Shirkhani, A., 2018. The effect of nitrogen on radiation use efficiency and growth indices of maize hybrids (*Zea mays* L.) under Kermanshah condition. Iranian Journal of Field Crops Research 15: 885-900. (In Persian with English Summery)

Ahmadvand, G., Mondani, F., Dehghan Banadaki, M., Hajinia, S., and Eskandari, B., 2017. The effect of different methods of tillage and cover crop on radiation interception and use by potato (*Solanum tuberosum*) under Hamedan weather condition. Plant Production Technology 8: 179-193. (In Persian with English Summery)

Akbari, D., 2012. Effect of drought stress at different growth stages on soybean yield and water use efficiency in Mazandaran. Agricultural Science and Sustainable Production 22: 13-23. (In Persian with English Summery)

Armada, E., Portela, G., Roldán, A., and Azcón, R., 2014. Combined use of beneficial soil microorganism and agrowaste residue to cope with plant water limitation under semiarid conditions. Geoderma 232: 640-648.

Besharati, H., Pashapour, S., and Rezazadeh, M., 2017. The evaluation of plant growth promoting rhizobacteria effect for improving soybean growth indices. Iranian Journal of Field Crops Research 47: 671-687. (In Persian with English Summery)

Çolak, Y.B., Yazar, A., Çolak, İ., Akça, H., and Duraktekin, G., 2015. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. Agriculture and Agricultural Science Procedia 4: 372-382.

Costa, R.R.G.F., Quirino, G.D.S.F., Naves, D.C.D.F., Santos, C.B., and Rocha, A.F.D.S., 2015. Efficiency of inoculant with *Azospirillum brasilense* on the growth and yield of second-harvest maize. Pesquisa Agropecuária Tropical 45: 304-311.

Dabaghian, Z., Pirdashti, H., Abasian, A., and Bahari Saravi, S.H., 2015. The effect of biofertilizers, *Thiobacillus*, *Azotobacter*, *Azospirillum* and organic sulfur on nodulation process and yield of soybean (*Glycine max* L. Merr.). Applied Field Crop Research 107: 17-25. (In Persian with English Summery)

Deoliveira, P.J., Ribeiro, A., Paulino, A., Da Rocha, E.J., Farias, J.R.B., Loureiro, R.S., Bispo, C.C., and Sampaio, L., 2009. Solar radiation use efficiency by soybean under field conditions in the Amazon region. Brazilian Agricultural Research 44: 1211-1218.

Divsalar, M., Tahmasbi-Sarvestani, Z., Mohammad Modares Sanavi, A., and Hamidi, A., 2016. The evaluation of drought stress impact as irrigation with holding at reproductive stages on quantitative and qualitative performance of soybean cultivars. Agricultural Crop Management 18: 481-493. (In Persian with English Summery)

Ebadi, A., Sajed, K., and Gharib-Eshghi, A., 2014. Evaluation of light extinction coefficient, radiation use efficiency

and grain yield of soybean genotypes. African Journal of Agricultural Research 9: 222-229.

Ellis, R.H., Asumadu, H., Qi, A., and Summerfield, R.J., 2000. Effects of photoperiod and maturity genes on plant growth, partitioning, radiation use efficiency, and yield in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) 'Clark'. Annuals of Botany 85: 335- 343.

Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database. 2017. FAOSTAT Production Statistics of Crops. Available: http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E.

Gardner, F.P., Pearce, R.B., and Mitchell, R.L. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press, USA.

Goudriaan, J., and Van Laar, H.H., 1993. Modeling potential crop growth processes. Kluwer Academic.

Gülser, F., 2005. Effects of ammonium sulphate and urea on NO^{3-} and NO^{2-} accumulation, nutrient contents and yield criteria in spinach. Scientia Horticulturae 106: 330-340.

Habibi, D., 2015. Effect of plant growth promoting rhizobacteria, foliar application of amino acids and silicic acid on yield and yield components of wheat under drought stress. New Finding in Agriculture 9: 89-104. (In Persian with English Summery)

Hokmalipour, S., 2017. Evaluate the effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and nitrogen fertilizer on yield and some agronomic and physiological traits of medicinal plant of Peppermint (*Mentha piperita* L.). Journal of Plant Ecophysiology 9: 133-144. (In Persian with English Summery).

Hamidi, A., Chaokan, R., Asgharzadeh, A., Dehghanshoar, M., Ghalavand, A., and Malakouti, M.J., 2009. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on phenology of late maturity maize (*Zea mays* L.) hybrids. Iranian Journal of Crop Science 11: 271-289. (In Persian with English Summery)

Kiniry, J.R., Tischler, C.R., and van Esbroeck, G.A., 1999. Radiation use efficiency and leaf CO_2 exchange for divers C_4 grasses. Biomass and Bioenergy 17: 95-112.

Khademhamzeh, H.R., Karimie, M., Rezaie, A., and Ahmadie, M., 2004. Effect of plant density and planting date on agronomic characteristics, yield and yield components in Soybean. Iranian Journal of Agricultural Science 35: 357-367. (In Persian with English Summery)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S., 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. Journal of Agroecology 1: 13-23. (In Persian with English Summery)

Loomis, R.S., and Williams, W.M., 1963. Maximum crop productivity: an estimate. Crop Science 3: 67-72.

Nassiri-Mahallati, M., Koocheki, A., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S., 2015. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. Journal of Cleaner Production 106: 343-350.

Noroozi-Shahri, F., Gholami, B., Jalali Honarmand, S., Mondani, F., and Saeedi, M., 2018. Evaluating the effect of smoke-water and nitrogen fertilizer on wheat (*Triticum aestivum* L.) ecophysiological traits. Iranian Journal of Field Crops Research 16: 459-475. (In Persian with English Summery)

Parhizkar-Khajani, F., Irannezhad, H., Amiri, R., Oraki H., and Majidian, M., 2012. Effects of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium on quantitative and qualitative characteristics of oil flax. Electronic Journal of Crop Production 5: 37-51. (In Persian with English Summery).

Ruzzi, M., and Aroca, R., 2015. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulture 196: 124-134.

Seiedi, M.N., and Seyed Sharifi, R., 2013. The effects of Seed Inoculation with *Rhizobium* and nitrogen application on yield and some agronomy characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under Ardabil condition. Iranian Field Crop Research 11: 618-628. (In Persian with English Summery).

Seyed Sharifi, R., Ganbari, P., Khavazi, K., and Kamari, H., 2016. Study of interaction between nitrogen and biofertilizers on yield, grain growth of wheat and fertilizer use efficiency. Journal of Soil Biology 4: 1-14. (In Persian with English Summery).

Seyed Sharifi, R., Lotfollah. F., and Kamari, H., 2016. Evaluation of effects of *Azotobacter*, *Azospirillum* and *Psedomunas* inoculation and spraying of nitrogen on fertilizer use efficiency and growth of triticale. Journal of Soil Management and Sustainable 5: 115-132. (In Persian with English Summery)

Seyed sharif, R., 2015. Effects of zinc application and biofertilizers on nodulation, yield and some growth characterstics of soybean. Agricultural Crop Management 17: 109-130. (In Persian with English Summery)

Sarkar, K.K., Mannan, M.A., Haque, M.M., and Ahmed, J.U., 2015. Physiological basis of water stress tolerance in

soybean. Bangladesh Agronomy Journal 18: 71-78.

Sharifi, R., Ahmadzadeh, M., Sharifi-Tehrani, A., and Talebi-Jahromi, K., 2010. Pyoverdine production in *Pseudomonas fluorescens* UTPF5 and its association with suppression of common bean damping off caused by *Rhizoctonia solani* (Kuhn). Journal of Plant Protection Research 50: 72-78.

Shoor, M., Mondani, F., Aliverdi, A., and Golzardi, F., 2012. Interaction effect of CO_2 enrichment and nutritional conditions on physiological characteristics, essential oil and yield of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). Notulae Scientia Biologicae 4: 121-130.

Tabassum, B., Khan, A., Tariq, M., Ramzan, M., Khan, M.S.I., Shahid, N., and Aaliya, K., 2017. Bottlenecks in commercialization and future prospects of PGPR. Applied Soil Ecology 121:102-117.

Tajik-Khaveh, M., Alahdadi, A., Daneshiyan, J., and Armand-Pisheh, A., 2011. Evaluating effect of biofertilizer on nodulation and soybean (*Glycine max* L) plants growth characteristics under water deficit stress of seed. Agroecology 3: 337-346. (In Persian with English Summery)

Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H.O., 2005. A simulation model of cereal legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research 93: 10-22.

Vahadi, N., and Gholinezhad, E., 2015. Evaluation of drought tolerance of some soybean cultivars. Journal of Water Research in Agriculture 29: 1-9. (In Persian with English Summery)

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.4, Winter 2020, p. 1205-1224

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 4، زمستان 1398، ص 1224-1205

Studying Effect of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Ecophysiological Traits of Soybean (*Glycine max* L.) under Irrigation Regimes

F. Mindani[1*], K. Khani[2], S. Jalali Honarmand[3] and M. Saeedi[3]

Submitted:21-06-2018
Accepted:11-11-2018

Mindani, F., Khani, K., Jalali Honarmand, S., and Saeedi, M. 2020. Studying effect of plant growth-promoting rhizobacteria on ecophysiological traits of Soybean (*Glycine max* L.) under irrigation regimes. Journal of Agroecology. 11 (4):1205-1224.

Introduction
Water scarcity and frequent droughts are becoming a serious problem particularly in the context of alarming predictions of climate change in the world. Within the arid and semi-arid regions, water availability is a major limitation for crop production. Thus, it is necessary to improve yield and the efficient utilization of limited available water in the irrigated agroecosystems. One possibility to enhance crop yield under water limitation is using soil microorganisms that increase the radiation and water efficiency and uptake capacity. Among these potential soil microorganisms, plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) are the most promising, including all bacteria inhabiting the rhizosphere and the rhizoplane able to simulate plant growth and yield. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the effects of the PGPR on the ecophysiological characteristics of soybean under different moisture regimes.

Material and Methods
The field experiment was conducted during 2016 at the research farm of Campus of Agriculture and Natural Research, Razi University, Kermanshah, Iran (34°, 19´ N, 47°, 50´ E with 1320 m altitude). A split plot factorial experiment was conducted based on randomized complete block design. Main plots had three irrigation regimes in which irrigation was cut based on the soybean stages (I_1: water deficit stress from mid pod development stage to maturity stage; I_2: water deficit stress from grain filling development stage to maturity stage; and I_3: optimum irrigation in all development stages) and sub-plots were composed of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) (B_1: no bacteria; B_2: *Bacillus subtilis*; and B: *Bacillus licheniformis*) and soybean cultivar (TMS, M_9 and Kosar). The experimental plots were irrigated based on furrow method. I_3 treatment were irrigated every 7 days until the end of the growing period while in the I_1 and I_2 treatments, the plots were irrigated every 7 days until the start of the water deficit stress. In order to inoculate with the PGPR, the soybean seeds were plunged in a 1:10 (v:v) solution of liquid culture and distilled water, respectively for 10 minutes. All seeds including inoculated and no inoculated seeds oven-dried at 30 ℃ for 5 h. Finally, the soybean inoculated seeds by PGPR were inoculated by *Rhizobium japonicum* before sowing and cultivated immediately at 4 to 5 cm soil depth. The evaluated traits were the leaf area index (LAI), radiation absorption (RA), crop growth rate (CGR), relative growth ratio (RGR), total dry weight (TDW), radiation use efficiency (RUE) and Grain yield (GY).

Results and Discussion
The results indicated that the water deficit stress reduced the LAI, RA, CGR, RGR, TDW, RUE and GY of soybean. The PGPR application improved all measured traits of soybean in all irrigation regime treatments. The highest LAI (6.7), RA (18.2 $MJ.m^{-2}$), CGR (20.6 $g.m^{-2}.d^{-1}$), TDW (1104.7 $g.m^{-2}$) and RUE (1.165 $g.MJ^{-1}$) were related to TMS cultivar in the optimum irrigation and *B. licheniformis* treatment and the lowest them were related to Kosar cultivar under water deficit stress from mid pod development stage to maturity stage and no bacteria treatment. The greatest GY (380.9 $g.m^{-2}$) was related to TMS cultivar which was observed in the optimum irrigation and *B. licheniformis* treatment and the lowest GY (134.2 $g.m^{-2}$) was related to Kosar cultivar which was observed in the water deficit stress from mid pod development stage to maturity stage and no bacteria treatment. In this study, *B. licheniformis* compared to *B. subtilis* presented a more effective improvement in soybean LAI, RA, CGR, RGR, TDW, RUE and GY.

1, 2, 3 and 4- Assistant Professor in Crop Ecology, MSc student in Agronomy and Associate Professors in Crop Physiology, Department of Crop Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: f.mondani@razi.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.73655

Conclusion

It seems that the PGPR could promote the soybean growth and yield via increasing the root system and more uptake of water in the rhizosphere. Nevertheless, as the results showed, the more effects of the PGPR were observed in the I_2 treatment compared to other treatments. The PGPR actually could promote the soybean growth and yield in the mid water deficit stress.

Keywords: Grain yield, growth indices, radiation absorption, radiation use efficiency, water deficit stress